

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 939**

51 Int. Cl.:

C01B 3/08 (2006.01)

C01B 3/10 (2006.01)

B01J 4/02 (2006.01)

C01B 3/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **10162771 .9**

96 Fecha de presentación: **13.05.2010**

97 Número de publicación de la solicitud: **2394953**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.12.2011**

54 Título: **Sistema de generación in situ de hidrógeno bajo demanda usando un reactivo metálico líquido reciclable, y el método utilizado en el sistema**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

17.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

17.12.2012

73 Titular/es:

**GARRIDO ESCUDERO, AMALIO (100.0%)
CI Mario Vargas Llosa, 22 Urb. Mirador de
Agridulce-Guadalupe
30107 Murcia, ES**

72 Inventor/es:

GARRIDO ESCUDERO, AMALIO

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 392 939 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema la generación in situ de hidrógeno bajo demanda usando un reactivo metálico líquido reciclable, y el método utilizado en el sistema

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

5 La presente invención se encuentra dentro del campo técnico de la generación química de hidrógeno utilizando metales alcalinos y metales alcalino-térreos y de recuperación de metales alcalinos y metales alcalinotérreos de los correspondientes hidróxidos. La invención es particularmente útil para la generación de hidrógeno en cantidades que son producidas de forma controlable en respuesta a la demanda variable en aplicaciones como, por ejemplo, en vehículos con motores de combustión interna, turbinas o pilas de hidrógeno tales como
10 vehículos de locomoción terrestre, aérea o marítima etc, así como cualquier otro aparato que requiere la generación bajo demanda de hidrógeno para cualquier propósito.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 El hidrógeno se puede utilizar como combustible no contaminante en pilas de combustible, motores de combustión interna o turbinas, así como en cualquier otro sistema, cuando se utilice hidrógeno gaseoso como combustible. Obviamente, los sistemas generadores de energía que utilizan hidrógeno como combustible necesitan que el hidrógeno sea producido por un proceso de generación. Generalmente, el hidrógeno producido mediante tales procesos de generación se almacena en estado líquido o gaseoso en tanques desde donde se conduce a los sistemas generadores de energía (por ejemplo, US2006/011659A1). Estos sistemas son equivalentes a los sistemas convencionales que se utilizan para conducir combustibles fósiles no renovables.
20

Hay un gran número de sistemas de generación de hidrógeno, tales como, entre otros, el e reformado catalítico de hidrocarburos como etanol, como se describe en el documento US-6245309-B1 y US-6.461.408-B2, la electrólisis del agua, como se describe en US2004/0065542A1, hidruros, como se describe en US2005/0036941A1 y US200910274595A1, reacciones entre metales y ácidos, como se describe en US-4988486, reacciones entre metales y sustancias alcalinas o aminoboranes como se describe en el documento US-7052658-B2.
25

De acuerdo con el Departamento de Energía de EE.UU. ("DOE"), la densidad de energía es "la relación entre la energía disponible por libra" es decir, por unidad de peso (cf. Solar Glossary: http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_glossary.html # E). La tabla siguiente enumera la densidad de energía de algunas sustancias que son de interés como combustible:
30

Tabla I

Sustancia	Densidad de energía por masa (MJ / kg)	Densidad de energía por volumen (MJ / L)
Hidrógeno líquido	143,00	10,10
Hidrógeno gas comprimido a 700 bar	143,00	5,60
Hidrógeno gas	143,00	0,01
Borohidruro de litio	65,20	43,40
Metano (1,013 bar; 15°C) *	55,60	0,04
Gas licuado del petróleo ("GLP") propeno *	19,60	25,30
Gas licuado del petróleo ("GLP") butano*	49,10	27,70
Gasolina *	46,40	34,20

ES 2 392 939 T3

Sustancia	Densidad de energía por masa (MJ / kg)	Densidad de energía por volumen (MJ / L)
Diesel *	46,20	37,30
Litio	43,10	23,00
Keroseno *	42,80	33,00
Magnesio	24.70	43.00
Calcio	15.90	24.60
Sodio	13,30	12,80
Biodiesel *	42,20	33,00
Aleación Litio/sodio (80/20)	37,14	20,96
Aleación litio/magnesio (80/20)	39,42	27,00
Bioetanol *	26,00	35,60
Hulla pesada*	32,50	72,40
Hulla ligera *	24,00	20,00
Madera *	18,00	
Batería de iones de litio	0,72	0,90
Batería de plomo (automoción)	0,14	0,36
Las sustancias marcadas con * generan dióxido de carbono cuando se usan como combustible.		

Como es evidente, la densidad en volumen de gas hidrógeno es extremadamente baja de modo que su almacenamiento en depósitos de vehículos o tanques estacionarios plantea problemas de eficiencia. Por lo tanto, se han buscado formas de generar hidrógeno in situ bajo demanda.

5 Para ser competitivo con los combustibles convencionales o baterías eléctricas, la densidad de energía de los sistemas de propulsión basados en el hidrógeno debe ser equivalente o superior a estos. La generación química de hidrógeno ofrece esta posibilidad. Además de los documentos de patente mencionados anteriormente, otros sistemas se describen en US-4156635, US-4498927, US-4980136 y US2006/0117659A1, así como en US-3.985.866, que describe un método para producir hidrógeno gas haciendo reaccionar un combustible de aluminio que comprende como componente principal y el metal alcalino o alcalino como componente minoritario, con agua.

10 Un número de conocidos sistemas químicos generadores de hidrógeno utilizan procesos de generación que utilizan hidruros metálicos o no metálicos así como las reacciones de metales con ácidos o álcalis. La tabla siguiente compara una serie de combustibles, incluyendo gasolina y diesel como combustibles no renovables, cuando se utiliza en motores de vehículos:

15

Tabla II

Combustible	Tipo de motor	Consumo		Volumen de tanque necesario para 400km (L)	Peso del tanque necesario para almacenar fuel para 400km	Emisión s (g CO ₂ /km)
		(L/100km)	(kg/L)			
Gasolina	Combustión interna	8	5,84	32	23,36	170
Diesel	Combustión interna	6	5,1	24	20,4	110
Hidrógeno líquido	Combustión interna	46	3,26	184	13,04	0
Hidrógeno líquido	Pila de combustible	23,93	1,7	95,72	6,8	0
Litio	Combustión interna	21,34	11,31	85,36	45,24	0
Litio	Pila de combustible	11,11	5,89	44,44	23,56	0
Sodio	Combustión interna	38,63	37,47	154,52	149,88	0
Sodio	Pila de combustible	20,12	20,12	80,48	80,48	0

5 La mayoría de los sistemas convencionales de generación de hidrógeno necesitan catalizadores y/o los sistemas de encendido y son caros en relación con el reciclaje del combustible o utilizan sustancias altamente tóxicas. Mientras que una proporción importante de estos sistemas es susceptible de ser instalado en vehículos de motor, que todavía son técnicamente complejos o implican inconvenientes técnicos, económicos o medioambientales, especialmente respecto de proporcionar la suficiente precisión y sensibilidad de la generación de una corriente de hidrógeno que puede permitir una respuesta inmediata a la demanda de energía como, por ejemplo, por inyección directa de los mismos en un motor de combustión interna o una turbina, y en relación con el reciclaje de combustible utilizado. Hay, pues, una necesidad de desarrollar un sistema de generación de hidrógeno que superare estos inconvenientes.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

15 La presente invención está destinada a superar los inconvenientes antes mencionados de la técnica anterior al proporcionar una forma novedosa de la generación de hidrógeno por medio de una reacción entre un metal licuado alcalino, metal alcalinotérreo, o una aleación de alguno de dichos metales entre sí y agua, así como una forma mejorada para el reciclaje de tales metales o aleaciones después de la generación de hidrógeno.

20 Para facilitar la concisión de esta memoria descriptiva y de las reivindicaciones adjuntas, el metal alcalino, metal alcalinotérreo y de las aleaciones de los mismos entre si es referido como "reactivo metálico". El residuo del reactivo metálico producido después de la generación de hidrógeno se conoce como "hidróxido metálico". Particularmente, la invención se refiere a un in situ de hidrógeno bajo demanda usando un reactivo metálico líquido reciclable, y el método utilizado en el sistema y un aparato y un procedimiento para la recuperación el reactivo metálico del hidróxido metálico después de la generación de hidrógeno.

25 El sistema de generación in situ de hidrógeno bajo demanda usando un reactivo metálico líquido reciclable, de acuerdo con la invención comprende un primer almacenamiento para almacenar un primer reactivo que es un reactivo metálico seleccionado entre los metales alcalinos, metales alcalinotérreos, aleaciones de metales alcalinos entre si, aleaciones de metales alcalinotérreos entre si y aleaciones compuestas de metal alcalino y metal alcalinotérreo, de una manera segura y en condiciones de conservación adecuadas en un ambiente

sustancialmente libre de oxígeno generado, por ejemplo, por condiciones de vacío o en atmósfera de gas inerte, y un segundo almacenamiento para almacenar un segundo reactivo, es decir, agua desmineralizada, y un reactor en el que los reactivos se hacen reaccionar para generar hidrógeno gaseoso. El reactor comprende entradas de reactivo y una salida del reactor, separadores conectados a la salida del reactor para separar el hidrógeno gaseoso del hidróxido metálico del producto residual de reacción, es decir, seleccionado entre hidróxidos de metales alcalinos o hidróxidos alcalinotérreos, aleaciones de metales alcalinos, aleaciones de metales alcalinotérreos y aleaciones que comprenden metal alcalino y de metal alcalinotérreo tal como se produce en el reactor, y un colector receptor de hidrógeno conectado al primer separador para recibir hidrógeno gaseoso extraído del primer separador.

- 5
- 10 Los reactivos metálicos especialmente adecuados son Li, Na, K y Mg, y preferiblemente los reactivos metálicos más adecuados son Na y Li, y el reactivo metálico particularmente preferido es Na debido que tiene un punto de fusión relativamente bajo y es abundante. Una aleación especialmente interesante es la aleación 5/95 Li / Na que tiene una intensidad energética que es mayor que la de Na solo y un punto de fusión (= 89 ° C) que es 10 ° C inferior a la de Na. Otras aleaciones útiles comprenden, por ejemplo, las aleaciones de potasio y sodio, tal como aleación 56/44 Na / K que funde a 6,8 ° C, o aleaciones de litio y estroncio, tales como aleación 12/88 Li / Sr que funde a 132 ° C.

20 De acuerdo con la invención, el sistema de generación de hidrógeno comprende un inyector de reactivo metálico para inyectar de forma controlable un caudal de reactivo metálico líquido calentado por encima de su punto de fusión en el reactor, un sistema de inyección de agua para la inyección en todo momento una cantidad estequiométrica de agua, preferiblemente fría, con respecto a la cantidad del reactivo metálico que se inyecta en el reactor de tal manera que el ratio del reactivo metálico/agua se mantiene controlado en el reactor; medios para mantener controlados los medios de almacenamiento, medios de inyección de reactivo metálico, el sistema de inyección de agua, el reactor, los medios de separación y la recepción de hidrógeno libre de oxígeno, proporcionando vacío en el sistema.

25 El reactivo metálico líquido se puede inyectar en una corriente de agua desmineralizada o la corriente de agua desmineralizada se puede inyectar en una corriente de reactivo metálico líquido en condiciones de flujo turbulento, laminar o segmentado. La elección de las condiciones de flujo dependerá de:

- a. el metal/la aleación de metal utilizado,
- b. la superficie de interfase activa del reactivo necesaria para llevar a cabo la reacción bajo condiciones controladas y
- c. masa de metal líquido/aleación de metal por unidad de volumen.

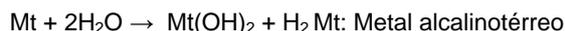
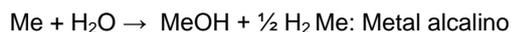
35 La relación de "la masa de la interfase superficial entre ambos reactivos (agua desmineralizada y metal líquido/aleación metálica) por unidad de volumen" gobierna el nivel de control sobre la reacción y la seguridad y el rendimiento del proceso de generación de hidrógeno. Esta relación se puede establecer optimizando entre otros el diámetro de los tubos de inyección, la longitud del reactor, la velocidad de flujo, las presiones de caudales y temperaturas. Las condiciones de flujo laminar tienen la ventaja de que la generación de hidrógeno es normalmente más fácil de controlar que bajo condiciones de flujo turbulento.

40 De acuerdo con la forma de materialización preferente de la invención, los primeros almacenamientos están conectados a una primera entrada de reactivo a través de un sistema de alimentación de reactivo metálico que comprende al menos un dispositivo de inyección de reactivo metálico para inyectar de forma controlable un caudal del reactivo metálico en un estado líquido en el reactor, una tubería de inyección de metal conectando el inyector con la primera entrada de reactivos, calentador del reactivo para calentar el reactivo metálico a una temperatura por encima del punto de fusión del reactivo metálico a fin de poner el reactivo metálico en dicho estado líquido antes de entrar en el reactor. El sistema de alimentación del reactivo metálico comprende además unos generadores de vacío para generar selectivamente vacío en el primer sistema de alimentación del almacenamiento, el sistema de inyección de agua, el reactor, los separadores y los receptores de hidrógeno libre de oxígeno para garantizar condiciones apropiadas de almacenamiento y proceso puesta en marcha. Se proporcionan válvula de control del caudal para controlar el caudal del reactivo metálico en el reactor, y sistema de refrigeración para mantener el reactor a una temperatura de trabajo. La válvula de control de caudal puede ser insertada en la tubería de inyección de metal y comprenden una válvula de control de presión dispuesta entre la salida y la entrada del primer reactivo y una válvula de retención dispuesta entre la válvula de control de presión y la entrada del primer reactivo para evitar retornos de reactivos desde el reactor.

55 De acuerdo con esta forma de materialización preferente, el segundo almacenamiento está conectado a una segunda entrada de reactivo a través de un sistema de alimentación de agua que comprende una tubería de inyección de agua que conecta el segundo almacenamiento a la segunda entrada de reactivos, la válvula de dosificación de agua para la dosificación del agua para ser inyectada en el reactor e inyectores de agua conectados a la segunda entrada del reactivo. La válvula de control de caudal y la válvula de dosificación de

agua se controlan por reguladores de la proporción tales que la dosificación del agua proporciona en todo momento una cantidad estequiométrica de agua con respecto a la cantidad del reactivo metálico que se inyecta en el reactor de tal manera que el ratio reactivo metálico controlado/agua se mantiene en el reactor. El reactor está diseñado y dimensionado para retener el reactivo metálico y el agua durante un período de tiempo suficiente como para asegurar una reacción completa de reactivo metálico y agua de acuerdo con el flujo de reactivo metálico y el agua inyectada en todo momento, y que los productos extraídos de la reacción son sólo hidrógeno y el producto residual de la reacción.

Como es evidente, la invención se basa en los esquemas de reacción conocidas per se de metales alcalinos y metales alcalinotérreos con agua representados por las fórmulas



Como es sabido, estas reacciones son fuertemente exotérmicas y muy rápidas en la medida en que tienen lugar casi inmediatamente cuando el metal alcalino o metal alcalinotérreo entran en contacto con el agua y el hidrógeno se libera. La presente invención utiliza la rapidez de la reacción. Aunque estas reacciones son de por sí violentas cuando un reactivo metálico sólido se pone en contacto con el agua, de acuerdo con la presente invención, la sustancia reaccionante de metal está en su estado líquido de manera que puede ser fácilmente dosificada a fin de hacer que reaccione con el agua de manera estequiométrica en un ambiente libre de oxígeno, de tal manera que se descarta una reacción violenta con el oxígeno del ambiente. Por ejemplo, un vacío por debajo de 300 mm/Hg es normalmente suficiente para evitar que el hidrógeno genere explosión, ya que el hidrógeno generado en el reactor ya está bajo presión debido al hidrógeno generado con anterioridad. El calor generado por esta reacción exotérmica puede utilizarse para calentar el reactivo metálico que se va a inyectar en el reactor, por ejemplo, mediante la conexión térmica del sistema de refrigeración del reactor con el medio de calentamiento del primer/segundo reactivo. El calor generado puede utilizarse también para proporcionar energía térmica a las células de combustible o un motor de combustión.

Así, por medio del sistema de la presente invención, la generación de hidrógeno puede ser aumentada o disminuida, o ser detenida por completo, de acuerdo con la cantidad de hidrógeno exigido en todo momento. Los receptores de hidrógeno pueden ser, por ejemplo, un tanque de hidrógeno a partir del cual el hidrógeno se suministra a una pila de combustible o motor de combustión de hidrógeno o turbina de hidrógeno y/o a la entrada de hidrógeno de una pila de combustible o motor de combustión de hidrógeno o turbina de hidrógeno.

Como el reactivo metálico es fluido, puede ser fácilmente inyectado en el reactor junto con las cantidades estequiométricas correspondientes de agua desmineralizada, en cantidades a tasas rápidamente mediante el cual puede ser un caudal variable de hidrógeno adaptado a las diversas exigencias de hidrógeno generado. Por lo tanto, el sistema de alimentación del reactivo metálico y el sistema de alimentación de agua pueden ser controlados para funcionar normalmente a tasas de generación de hidrógeno adaptadas para satisfacer en todo momento la demanda de energía de, por ejemplo, un motor, y para aumentar la generación de hidrógeno para llenar un tanque que tiene un capacidad de por lo menos lo suficientemente grande como para proporcionar hidrógeno para reiniciar el motor y/o para proporcionar hidrógeno adicional, cuando las cantidades adicionales de hidrógeno estén momentáneamente siendo requeridas para satisfacer las crecientes necesidades de energía del motor. Además, el sistema de alimentación del reactivo metálico y el sistema de alimentación de agua pueden ser controlados para alimentar normalmente hidrógeno a un tanque en una tasa de generación de hidrógeno "de referencia" sustancialmente constante para llenar un tanque de hidrógeno a partir de la cual el hidrógeno es normalmente retirado de acuerdo con las necesidades momentáneas de, por ejemplo, el motor, hasta un límite máximo determinado, y la generación de aumento de hidrógeno para proporcionar hidrógeno adicional directamente en el motor cuando hay picos de consumo de hidrógeno que son mayores que dicho límite máximo, y/o cuando es necesario volver a llenar el tanque de hidrógeno.

Los puntos de fusión de los metales alcalinos y de metales alcalino-térreos y otras características de los mismos se dan en la siguiente tabla:

Metal	Peso atómico (u)	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C a 760 mm Hg)	Densidad (g·cm ⁻³)
Litio	6,041	180	1.342	0,53
Sodio	22,990	97	883	0,97
Potasio	39,098	63	759	0,89

Metal	Peso atómico (u)	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C a 760 mm Hg)	Densidad (g·cm ⁻³)
Rubidio	85,468	39	688	1,53
Cesio	132,905	28	671	1,93
Magnesio	24,305	650	1.107	1.738
Calcio	40,078	839	1.484	1,55
Estroncio	87,620	764	1.384	2,54
Bario	137,327	725	1.140	3,59

En una forma de materialización del sistema, el dispositivo de inyección de reactivo metálico comprende un cuerpo cilíndrico, y una matriz para alojar el reactivo metálico en un estado líquido o sólido, una salida del reactivo conectada a la tubería de inyección del reactivo metálico, una entrada del reactivo conectada al primer almacenamiento por medio de una tubería de alimentación del reactivo metálico, y una válvula de alimentación de reactivo metálico conectada entre la entrada de reactivo y el primer almacenamiento. En esta materialización, el dispositivo de inyección del reactivo metálico comprende, además, una conexión de vacío conectada a la generación de vacío, y un pistón móvil dentro de la tubería del cilindro hacia una primera posición por donde se aspira el reactivo metálico en la matriz a través de la entrada de reactivo y hacia una segunda posición por donde se expulsa el caudal del reactivo metálico desde la matriz a través de la salida de reactivo dentro de la tubería de inyección del metal. En este caso, el generador de vacío puede comprender un sistema de vacío conectado a la conexión de vacío a través de un tubería de vacío, y una válvula de vacío insertada en el tubería de vacío. Además, el calentamiento del reactivo puede comprender un primer calentador del reactivo dispuesto para calentar por lo menos la matriz del dispositivo de inyección de reactivo metálico, así como de un segundo calentamiento del reactivo dispuesto en la tubería de inyección del metal.

De acuerdo con la invención, los separadores pueden comprender una primera separación, tal como un separador de líquido y gas, conectado a la salida del reactor y que comprende una entrada conectada a la salida del reactor para la recepción de una mezcla de hidrógeno y el producto residual de la reacción como generado en el reactor, una primera salida conectada al receptor de hidrógeno, y una segunda salida conectada al receptor de hidróxido metálico provisto para recibir producto residual de la reacción extraído a partir de la primera separación. La primera separación puede ser un separador estático con una cámara interior con deflectores inclinados dispuestos para proporcionar una trayectoria de laberinto entre la entrada y la primera salida para permitir que el ligero gas hidrógeno pase a la parte superior de la cámara interior, y para retener hidróxido metálico alcalino en la parte inferior de la cámara interior. El primer separador puede comprender además una conexión de succión conectada al sistema de vacío, y una válvula de vacío del separador interconectada entre el orificio de aspiración y el sistema de vacío. Como el hidrógeno que se separa en la cámara interior se encuentra bajo presión, un nivel hidráulico de hidróxido metálico se ha de mantener en la parte inferior de la cámara interior con el fin de evitar que el gas hidrógeno separado escape cuando el hidróxido metálico esté siendo retirado.

La salida del reactor puede estar conectada a una boquilla para pulverizar dicha mezcla en el primer separador. El primer separador puede comprender además una conexión de succión conectada al sistema de vacío, y una válvula de vacío del separador interconectado entre la conexión de aspiración y el sistema de vacío. También pueden usarse otros separadores de gas/líquido.

El sistema puede comprender, además, un segundo separador interconectado entre el receptor de hidrógeno y la primera salida del primer separador, siendo el segundo separador un separador de gotas que comprende una entrada de gas-vapor conectada a la primera salida del primer separador, una salida de hidrógeno conectada con el receptor de hidrógeno, y una salida de hidróxido metálico conectada con el receptor del hidróxido metálico. Un dispositivo de filtrado de hidrógeno pueden estar interconectado entre el separador de partículas y el receptor de hidrógeno.

De acuerdo con la invención, el sistema puede incluir además un sistema de recuperación para la recuperación de reactivos metálicos seleccionados de Li, Na, K, Mg y aleaciones de los mismos a partir del producto de reacción residual que contiene estos elementos o aleaciones. El sistema de recuperación comprende un reactor de reducción de hidróxido metálico que comprende una cámara de reacción, una entrada de residuo para la alimentación de producto residual de la reacción que comprende al menos una entrada de hidróxido metálico en la cámara de reacción para poner en contacto el producto residual de la reacción con un agente

reductor que comprende ferrosilicio y óxido de calcio, una salida superior del reactor para extraer selectivamente la humedad y el reactivo metálico vaporizado de la cámara de reacción. Se puede proporcionar una entrada de agente reductor para la alimentación de una mezcla de ferrosilicio finamente dividido y óxido de calcio en la cámara de reacción.

- 5 Se proporcionan calentadores del reactor para calentar selectivamente la cámara de reacción a una temperatura de deshidratación para extraer la humedad del producto residual de la reacción, a una temperatura de calcinación para convertir el hidróxido metálico deshidratado en óxido metálico, y a una temperatura de vaporización que es superior al punto de ebullición del reactivo metálico presente en el producto residual de la reacción para obtener el reactivo metálico vaporizado.
- 10 Una trampa de vacío está interconectada en un conducto de vacío que conecta la salida superior del reactor y el generador de vacío. La trampa de vacío comprende una salida de condensado situada en su parte inferior y conectada a una válvula de extracción de condensado y un venteo situada en su parte superior y conectada a una válvula de venteo. Además, una válvula de extracción de humedad está interconectada en el conducto de vacío entre la salida de extracción y la trampa de vacío, y se proporciona sistema de refrigeración de condensados para la refrigeración de los condensados presentes en la trampa de vacío a una temperatura de condensación de humedad. Se conecta un conducto de extracción a la salida superior del reactor y a un depósito de reactivo metálico, y se dispone de refrigeración de reactivos metálicos en el conducto de extracción para licuar el metal alcalino vaporizado que entre en el conducto de extracción enfriándolo a una temperatura por encima del punto de fusión del reactivo metálico, de modo que el reactivo metálico líquido se deposita en el depósito de reactivo metálico. El depósito de reactivo metálico puede estar provisto de calentadores para mantener el depósito de reactivo metálico líquido en un estado líquido.

El depósito del reactivo metálico puede ser el primer almacenamiento al que se hace referencia anteriormente.

- 25 Los hidróxidos de metales alcalinos y los hidróxidos de metales alcalinotérreos son conocidos por ser altamente corrosivos. Por lo tanto, todos los elementos del sistema que están en contacto con estos hidróxidos de metal deben ser construidos y/o recuperados con materiales resistentes a la corrosión.

- 30 El método de generación in situ de hidrógeno bajo demanda de acuerdo con la invención, comprende la reacción de un reactivo metálico seleccionado entre los metales alcalinos, metales alcalinotérreos, aleaciones de metales alcalinos con metales alcalinos, aleaciones de metales alcalinotérreos con metales alcalino-térreos, y aleaciones formadas por metal alcalino y metal alcalinotérreo, con agua para obtener hidrógeno y un producto residual de la reacción que comprende hidróxido metálico seleccionado entre hidróxidos alcalinos e hidróxidos alcalinotérreos, e hidrógeno separado a partir del producto residual de la reacción. Particularmente, el método incluye los pasos de:

licuado del reactivo metálico por calentamiento para obtener reactivo metálico líquido en condiciones de vacío;

- 35 inyección del reactivo metálico líquido en un reactor por medio de la inyección del reactivo metálico y simultáneamente inyección por medio de un sistema de agua de inyección de un cantidad estequiométrica de agua desmineralizada con respecto a la cantidad del reactivo metálico líquido que se inyecta en el reactor de tal manera que la ratio metal reactivo controlado/agua se mantiene en el reactor;

- 40 transferencia de hidrógeno y el producto residual de la reacción desde el reactor hasta la separación; separación del hidrógeno a partir del producto residual de la reacción;

- 45 transferencia del hidrógeno separado hacia la recepción del hidrógeno y transferencia del producto residual de la reacción hacia la recepción del hidróxido metálico, por medio del cual la inyección del reactivo metálico, el sistema de inyección de agua en el reactor, los separadores y los receptores de hidrógeno se mantienen libres de oxígeno mediante el suministro selectivo de vacío en el sistema.

El método puede comprender adicionalmente un proceso para la recuperación de reactivos metálicos seleccionados entre Li, Na, K, Mg o aleaciones de los mismos del presente hidróxido metálico en el producto residual de la reacción mediante la reducción del hidróxido metálico en un reactor de reducción de hidróxido con un agente reductor, que comprende:

- 50 transferencia del producto residual de la reacción desde la recepción de hidróxido metálico hasta el reactor de reducción de hidróxido metálico;

generación de vacío en el reactor de reducción de hidróxido metálico que contiene el producto residual de la reacción;

sometimiento del producto residual de la reacción para la deshidratación térmica a vacío;

extracción de agua evaporada del reactor de reducción de hidróxido metálico con el fin de hacer que la humedad del producto residual de la reacción se libere, y opcionalmente reciclado del agua evaporada para usarla en el método de generación de hidrógeno;

5 calcinación del producto residual de la reacción para convertir el hidróxido metálico en óxido de metal;

reducir el óxido de metal, en condiciones de vacío, con el agente reductor que comprende una mezcla de ferrosilicio deshidratado finamente dividido y óxido de calcio deshidratado por calentamiento del óxido de metal a una temperatura superior al punto de ebullición del reactivo metálico presente en el óxido de metal, de tal modo que proporcione una reducción silicotérmica del óxido metálico de modo que se obtenga el reactivo metálico vaporizado;

10

extracción del reactivo metálico vaporizado del reactor de reducción y transferencia del reactivo metálico vaporizado a un condensador;

licuado del reactivo metálico vaporizado en el condensador por enfriamiento hasta una temperatura por encima del punto de fusión del metal alcalino, para obtener reactivo metálico líquido;

15

transferencia del reactivo metálico líquido a un depósito de reactivo metálico.

El reactivo metálico líquido se puede mantener en estado líquido en el recipiente de reactivo metálico. El metal alcalino contenido en el depósito de reactivo metálico puede ser inyectado en dicho reactor por un dispositivo de inyección del reactivo metálico, o almacenado para su posterior consumo en un estado sólido.

20

Como es evidente, de acuerdo con la presente invención, la recuperación del reactivo metálico a partir del producto residual de la reacción permite el reciclado eficiente del reactivo metálico del hidróxido metálico como presente en el producto residual de la reacción que se produce cuando se genera hidrógeno. La recuperación se basa en el siguiente esquema de reacción que, aunque específicamente hace referencia a los metales alcalinos, también es aplicable a Mg por analogía: (i) La deshidratación térmica, es decir, la calcinación de un hidróxido metálico alcalino al vacío para obtener óxido metálico alcalino y agua:

25

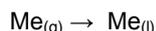


(ii) reducción silicotérmica del óxido metálico alcalino con óxido de calcio y ferrosilicio al vacío para obtener metal alcalino en bruto, así como silicato de calcio y hierro como subproductos:



(iii) la destilación y purificación del metal alcalino bruto para la obtención de metal alcalino puro:

30



La reducción silicotérmica como tal ha sido ampliamente utilizada en industria en relación con la producción de metal magnesio desde magnesia mediante el proceso Pidgeon, donde la presencia de oxígeno no tiene influencia negativa, el proceso Pidgeon, como tal, no es útil para la obtención de metales alcalinos ya que la presencia de oxígeno ambiental re-oxidaría el metal alcalino o daría lugar a la presencia de agua como un subproducto. Por lo tanto, la reducción silicotérmica de acuerdo con la presente invención se lleva a cabo al vacío a fin de evitar la presencia de oxígeno en el ambiente y después de la deshidratación térmica anterior para evitar cualquier contacto del agua producida con el metal alcalino cuando se produce. Por lo tanto, el volumen de la trampa de vacío utilizada debe ser lo suficientemente grande como para retener toda el agua producida cuando el producto residual de la reacción se deshidrata en el reactor de reducción.

35

40

Mientras que la reducción silicotérmica es termodinámicamente desfavorable, de acuerdo con el Principio de Chatelier el equilibrio puede ser desplazado en el sentido adecuado mediante el suministro continuo de calor y retirando uno de los productos de reacción. Según la invención, el producto de la reacción retirado es el reactivo metálico, que se retira por destilación a una temperatura que es más alta que su punto de ebullición. La temperatura a la que se alcanza el punto de ebullición se baja por el vacío aplicado de acuerdo con la presente invención, como se muestra en la tabla comparativa siguiente:

45

Metal	Punto de ebullición (°C a 760 mmHg)	Calor de vaporización (KJ / mol)	Punto de ebullición (°C a 20 mmHg)	Punto de ebullición (°C a 5 mmHg)
Litio	1.342	147,1	939	834
Sodio	883	96,96	574	496
Potasio	759	79,87	467	395
Rubidio	688	64	403	339
Magnesio	1.107	127,4	766	676
Calcio	1.484	153,6	1.031	914

5 El óxido de calcio añadido de acuerdo con esta invención tiene un doble propósito, es decir, para reaccionar con la sílice para formar silicato de calcio, por lo tanto retirar un producto de la reacción, y ceder el calor generado por la naturaleza exotérmica de la reacción contribuyendo así a desplazar el equilibrio de la reacción en el sentido adecuado.

La cantidad total estimada de energía requerida para la recuperación del metal reactivo oscila entre un mínimo teórico de 6,7 MWh/tonelada de metal hasta 75 MWh/tonelada de metal, estando comprendidos la mayoría de los metales en el intervalo de 25/55 MWh/tonelada. No se producen gases de efecto invernadero.

10 El sistema de la invención puede ser diseñado para la generación de hidrógeno para vehículos, aparatos que requieren la entrada de energía o en plantas estacionarias tales como las plantas de energía.

El sistema de generación de hidrógeno puede ser implementado en un vehículo de motor u otro sistema, solo o en combinación con el sistema de recuperación.

15 Así, en una estación de servicio, el reactivo metálico se puede calentar y se bombea en un estado líquido en el primer almacenamiento y/o directamente en uno o más cilindros del sistema de alimentación del reactivo metálico en el que se puede permitir que se solidifique. En este último caso, las matrices de los cilindros pueden actuar como primer almacenamiento. Los primeros calentadores de los reactivos son en este caso diseñados para calentar y licuar una parte del reactivo metálico que se encuentra cerca de la salida de reactivo de la matriz del cilindro. La porción licuada es empujada por el pistón a través de la salida y por lo tanto introducida en el reactor. Los primeros calentadores, por lo tanto, puede ser por ejemplo, una resistencia eléctrica situada para calentar la parte frontal de la matriz del cilindro. Al generarse el hidrógeno puede ser almacenado en un tanque para el consumo o utilizado directamente en la pila de combustible, motor o turbina. Cuando el sistema se detiene, el reactivo metálico se deja enfriar y solidificar.

25 Cuando el sistema de recuperación se implementa también en el vehículo u otro sistema o aparato que requiera entrada de energía, el reactivo metálico recuperado puede ser utilizado para la generación de hidrógeno. En este caso, la sustancia reaccionante de metal recuperado puede ser transferido al primer almacenamiento, es decir, en un depósito separado desde donde se proporciona en un estado líquido a la matriz del cilindro, o directamente en la matriz de un cilindro que no esté siendo utilizado para inyectar reactivo en ese momento. Además, el depósito del reactivo metálico puede ser el mismo que el primer medio de almacenamiento, o el reactivo metálico puede ser almacenado en un depósito separado que puede ser retirado del vehículo. En una materialización del sistema de recuperación, el agente reductor se precarga en la reactor

de reducción de hidróxido, por ejemplo, como una briqueta en forma de tubo con un paso interior a través del cual el reactivo metálico evaporado fluye después de la deshidratación y la calcinación del hidróxido metálico.

- 5 Una ventaja del sistema de la presente invención cuando se implementa en un vehículo es que el peso del sistema es bastante constante en la medida en que el hidróxido metálico producido tiene un peso muy similar a la del reactivo metálico. Así, cuando el sistema de recuperación no está implementado en el vehículo, el peso del reactivo metálico nuevo alimentado en el primer almacenamiento es prácticamente equivalente a la del hidróxido metálico que se elimina, mientras que cuando el sistema de recuperación también se implementa en el vehículo, el peso del reactivo metálico recuperado es prácticamente equivalente al peso del hidróxido metálico producido.
- 10 Como es evidente por la descripción anterior, la presente invención supera los inconvenientes de la técnica anterior por medio de un nuevo sistema y método.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

En lo sucesivo, los aspectos y materializaciones de la invención se describirán sobre la base de dibujos en los que

- 15 la figura 1 es un diagrama de flujo de una materialización del proceso de generación de hidrógeno según la invención;
- la figura 2 muestra una realización de un sistema para la generación de hidrógeno de acuerdo con el proceso que se muestra en la figura 1;
- la figura 3 es una vista más detallada del sistema mostrado en la figura 2;
- 20 la figura 4 muestra una realización de un sistema para la recuperación de reactivos metálicos a partir de hidróxido metálico por termostilación de acuerdo con una realización de la invención.

En estas figuras, hay referencias que identifican los siguientes elementos

- 1 primer almacenamiento
- 2 segundo almacenamiento
- 25 3 reactor
- 3a primera entrada del reactivo
- 3b segunda entrada del reactivo
- 3c salida del reactor
- 4 primer separador
- 30 4a entrada
- 4b primera salida
- 4c segunda salida
- 4d toma de succión
- 4e cámara interior
- 35 4f deflectores
- 5 receptor de hidrógeno
- 6 receptor de hidróxido metálico
- 7 inyector del reactivo metálico
- 7a tubo cilíndrico
- 40 7b matriz
- 7c salida del reactivo

- 7d entrada del reactivo
- 7e conexión de vacío
- 7f pistón
- 7g tubería de alimentación del reactivo metálico
- 5 7i válvula de alimentación del reactivo metálico
- 8 tubería de inyección del reactivo metálico
- 9a primer calentador del reactivo
- 9b segundo calentador del reactivo
- 10a sistema de vacío
- 10 10b tubería de vacío
- 10c válvula de vacío
- 11 válvula de control de presión
- 12 válvula de retención
- 13 tubería de inyección de agua
- 15 14 válvula de dosificación de agua
- 15 inyector de agua
- 16 boquilla
- 17 sistema de refrigeración
- 18 segundo separador
- 20 18a entrada de gas-vapor
- 18b salida de hidrógeno
- 18c salida de hidróxido metálico
- 19 filtro de hidrógeno
- 20 válvula de control de presión de hidrógeno
- 25 21a primera válvula de extracción
- 21b segunda válvula de extracción
- 22 indicador de nivel
- 23 válvula de vacío del separador
- 24 reactor de reducción de hidróxido
- 30 24a cámara de reacción
- 24b entrada de agente reductor
- 24c entrada de residuos
- 24d salida superior del reactor
- 25 calentador del reactor
- 35 26a conducto de vacío

- 26b generador de vacío
- 26c válvula de extracción de humedad
- 27 trampa de vacío
- 27a salida de condensados
- 5 27b venteo
- 28 válvula de extracción de condensado
- 29 válvula de ventilación
- 30 sistema de refrigeración de condensados
- 31 conducto de extracción
- 10 32 depósito del reactivo metálico
- 32a salida de depósito
- 33 enfriamiento del reactivo metálico
- 34 boquilla
- 35 motor/pila de combustible/turbina
- 15 36 separadores secundarios de hidrógeno
- 37 termopar
- 38 sensor de presión
- 39 sensor de presión de hidrógeno
- 40 válvula de control de presión de hidrógeno
- 20 41 válvula de alimentación

MATERIALIZACIÓN DE LA INVENCION

Las figuras 1 a 3 muestran los pasos básicos y los elementos de generación de hidrógeno de acuerdo con una realización de la invención.

- 25 Los pasos básicos de esta realización se muestra en la figura 1 y se explican sobre la base de un metal alcalino como litio o sodio usado como el primer reactivo aunque estos pasos también se pueden seguir de forma análoga usando metal de alcalino-terreo o aleaciones de estos metales entre si.

- 30 El metal alcalino contenido en el primer almacenamiento -1- se calienta mediante el primer calentador del reactivo -9a- a una temperatura superior a su punto de fusión, y el metal alcalino así licuado se inyecta en el reactor -3- por medio del inyector del reactivo metálico -7-. Simultáneamente, el agua desmineralizada procedente del segundo almacenamiento -2- también se inyecta en el reactor -3- mediante la inyección de agua -15-. La inyección de agua -15- es controlada de manera que proporciona un caudal de agua que es en todo momento proporcional a la corriente de reactivo metálico inyectado. De ese modo, el caudal de agua inyectada aumenta cuando el caudal de reactivo metálico aumenta en respuesta a un aumento de la demanda de hidrógeno, y se reduce cuando el caudal del reactivo metálico se reduce en respuesta a una reducción de la
- 35 demanda de hidrógeno. La mezcla de gas hidrógeno y el producto residual de la reacción que comprende hidróxido de metal alcalino obtenido en los reactores -3- se pulverizan a el primer separador -4- en donde el hidrógeno se separa del producto residual de la reacción. El producto residual de la reacción se retira del primer separador -4- y es transferido al receptor del hidróxido metálico -6- que puede ser, por ejemplo, un tanque o un reactor de reducción como el que se describirá aquí a continuación con referencia a la figura 4. El
- 40 hidrógeno extraído se hace pasar a un separador de gotas -18- para separar hidróxidos metálicos alcalinos o agua posiblemente todavía presentes, a continuación, a través de un filtro de hidrógeno -19- y recibido por el receptor de hidrógeno -5- como, por ejemplo, un tanque de almacenamiento de hidrógeno, o un depósito de hidrógeno conectado a un motor, una pila de combustible o una turbina -35- o directamente al motor, la pila de combustible o la turbina -35-. Los vapores o agua liberada desde el motor -35- después de la generación de
- 45 energía basada en el hidrógeno se colectan en un separador de hidrógeno secundario -36- donde se separa el

hidrógeno restante en los vapores de agua. El separador de hidrógeno secundario -36- está dirigido a recuperar, esencialmente como medida de seguridad, el hidrógeno que no ha reaccionado cuando la energía se genera por ejemplo en pilas de combustible. El hidrógeno restante se recircula al separador de partículas -18- y el agua se alimenta al segundo almacenamiento -2-.

5 Las figuras 2 y 3 muestran el sistema utilizado para realizar los pasos básicos representados en la figura 1 de una manera más detallada. Como es evidente, el sistema como se muestra en las figuras 2 y 3 consta de primer almacenamiento -1- para el almacenamiento de un metal alcalino, como sodio o litio, y segundo almacenamiento -2- para el almacenamiento de agua desmineralizada, y un reactor -3- en que el metal alcalino y el agua reaccionan para generar hidrógeno gaseoso. El reactor -3- comprende entradas de reactivos -3a, 3b- y una salida del reactor -3c-, separadores -4,18- conectados a la salida del reactor-3c- para separar el hidrógeno gaseoso a partir de un producto de reacción residual que comprende hidróxido metálico alcalino producido en los reactores -3-. Los receptores de hidrógeno -5- están conectados al primer separador -4- para la recepción de hidrógeno gaseoso extraído del primer separador -4-.

15 El primer almacenamiento -1- está conectado a un primer reactivo -3a- a través de un sistema de alimentación del reactivo metálico que comprende un dispositivo de inyección de metal alcalino -7- para inyectar de forma controlable un flujo del reactivo metálico en estado líquido en el reactor -3-, una tubería de inyección de metal alcalino -8- que conecta el dispositivo de inyección -7- con la primera entrada del reactivo -3a-, y los calentadores del reactivo metálico -9a, 9b- para el calentamiento del reactivo metálico a una temperatura por encima del punto de fusión del reactivo metálico a fin de poner el reactivo metálico en dicho estado líquido antes de entrar en el reactor -3-. El calentamiento del reactivo -9a, 9b- comprende el primer calentador del reactivo -9a- dispuesto para calentar por lo menos la matriz -7b- del inyector de metal alcalino -7-, así como el segundo calentador del reactivo -9b- dispuesto en una tubería de inyección de metal alcalino -8-.

25 El sistema de alimentación del reactivo metálico comprende además de generadores de vacío -10a, 10b, 10c- para generar selectivamente vacío en el primer sistema de alimentación, la válvula de control de flujo -11, 12- para controlar el flujo del reactivo metálico hacia el reactor -3- y el sistema de refrigeración -17- para mantener el reactor -3- a una temperatura de trabajo. La válvula de control de flujo -11, 12- se inserta en la tubería de inyección del metal alcalino -8- y comprende una válvula de control de presión -11- dispuesta entre la salida del reactivo -7c- y la primera entrada del reactivo -1a-, y una válvula de retención -12- dispuesta entre la válvula de control de presión -11- y la primera entrada del reactivo -1a- para evitar retornos del reactor -3-. Los generadores de vacío -10a, 10b, 10c- también comprenden un sistema de vacío -10a- conectado con la conexión de vacío -7d- a través de una tubería de vacío -10b-, y una válvula de vacío -10c- insertada en la tubería de vacío -10b-.

35 El segundo almacenamiento -2- está conectado a una segunda entrada de reactivo -3b- a través de un sistema de alimentación de agua que comprende una tubería de inyección de agua -13- que conecta el segundo almacenamiento -2- a la segunda entrada de reactivo -3b-, la válvula de dosificación de agua -14- para que la dosificación del agua sea inyectada en el reactor -3- y el inyector de agua -15- conectado a la segunda entrada de reactivo -3b-.

40 La válvula de control de caudal -11- y la válvula de dosificación de agua -14- son válvulas controladas por el control de la relación metal/agua tal que la dosificación de agua -14- en todo momento proporciona una cantidad estequiométrica de agua con respecto a la cantidad del reactivo metálico que se inyecta en el reactor -3- de tal manera que la relación entre la cantidad de reactivo metálico y agua se mantiene controlada en el reactor -3-. La válvula de control de flujo -11- y la válvula de dosificación de agua -14- están en una relación de "control en cascada"- donde la válvula de control de caudal -11- es el maestro y la válvula de dosificación de agua -14- es el esclavo.

45 El inyector de metal alcalino -7- comprende un tubo cilíndrico -7a-, y la matriz anteriormente mencionada -7b- para alojar el reactivo metálico líquido y una salida del reactivo -7c- conectada a la tubería de inyección del metal alcalino -8-. Una entrada del reactivo -7d- está conectada al primer almacenamiento -1- por medio de una tubería de alimentación del reactivo -7g-, y una válvula de alimentación del reactivo -7i- conectada entre la entrada del reactivo -7c- y el primer almacenamiento -1-. El inyector de metal alcalino comprende además una conexión de vacío -7e- conectado con los generadores de vacío -10a, 10b, 10c, y un pistón -7f- desplazable dentro del tubo cilíndrico -7a- hacia una primera posición mediante la cual el metal alcalino es aspirado a la matriz -7b- a través de la entrada de reactivo -7e- y a una segunda posición por la cual el caudal de metal alcalino líquido es expulsado de la matriz -7b- a través de la salida de reactivo -7c- en la tubería de inyección del metal alcalino -8-.

55 Los separadores -4, 18- comprenden un primer separador -4- conectado a la salida del reactor -3c- y que comprende una entrada -4a- conectada a la salida del reactor -3c- para recibir una mezcla de hidrógeno y el producto residual de la reacción generado en el reactor, una primera salida -4b- conectada con el receptor del hidrógeno -5-, y una segunda salida -4c- conectada al receptor del hidróxido metálico -6- proporcionado para

recibir el producto residual de la reacción extraído de la primera separación -4-. En la materialización mostrada en las figuras 2 y 3, el primer separador -4- comprende un separador estático con una cámara interior -4e- con deflectores inclinados -4f- dispuestos para proporcionar una trayectoria de laberinto entre la entrada -4a- y la primera salida -4b-, para permitir que ligero gas hidrógeno pase a la parte superior de la cámara interior -4a- y para retener hidróxido metálico alcalino en la parte inferior de la cámara interior -4a-. El primer separador -5- comprende además una conexión de aspiración -4d- conectada con el sistema de vacío -10a-, y de la válvula de vacío para puesta en marcha -23- interconectada entre la toma de succión -4d- y el sistema de vacío -10a- así que, cuando la generación de hidrógeno se inicia, todo el sistema está en condiciones de vacío. Después de que la generación de hidrógeno se ha iniciado, el hidrógeno generado acumula progresivamente la presión en el sistema de modo que una atmósfera de hidrógeno se produce desde del reactor hasta el receptor de hidrógeno -5- y, cuando proceda, al motor, las pilas de combustible o la turbina. En caso de emergencia, el hidrógeno presente en el sistema de generación de hidrógeno puede ser evacuado por el sistema de vacío. La salida del reactor -3c- está conectada a una boquilla -16- para pulverizar dicha mezcla en la primer separador -4-.

El sistema comprende además un segundo separador -18- interconectado entre el receptor de hidrógeno -5- y la primera salida -4b- del primer separador -4-, el segundo separador -18- siendo un separador de gotas que comprende una entrada de vapor de gas -18a- conectada a la primera salida del primer separador -4-, una salida de hidrógeno -18b- conectada al receptor de hidrógeno -5-, y una salida de hidróxido metálico -18c- conectada con el receptor de hidróxido metálico -6-. Se interconecta un filtro de hidrógeno al separador de gotas -19- y al receptor de hidrógeno -5-.

La generación de hidrógeno con el sistema descrito con referencia a las figuras 1-3 se puede llevar a cabo como sigue.

Cuando el pistón -7f- del inyector de metal -7- está en su primera posición, la válvula de vacío -10c- se abre mientras que la válvula de alimentación de reactivo -7i- y la válvula de control de presión -11- están cerradas, de tal manera que se genera vacío en la matriz -7b-, en la entrada del reactivo -7d-, en de salida del reactivo -7c-, en la tubería de vacío -10b- y en la parte de la tubería de inyección del reactivo metálico -8- comprendida entre la salida del reactor -7c- y la válvula de control de presión -11-. En esa etapa, la válvula de control de presión del hidrógeno -20-, la primera válvula de extracción -21a- y la segunda válvula de extracción -21b- están cerradas, y el vacío se genera también en el reactor -3-, el primer separador -4-, el separador de gotas -18-, el filtro de hidrógeno -19- y en los conductos y tuberías que conectan estos elementos, mediante la apertura de la válvula de vacío del separador -23-. El vacío es generado por el sistema de vacío -10a-.

Una vez que el vacío ha sido generado en el sistema, la válvula de vacío -10c- se cierra, la válvula de alimentación del reactivo -7- se abre y el pistón -7f- se mueve hacia atrás hacia su segunda posición tal que el metal alcalino fundido y líquido es aspirado desde el primer almacenamiento -1- a través de la tubería de alimentación de reactivo -7g- y la entrada del reactivo -7d- en la matriz -7b-. Al mismo tiempo, los calentadores -9a, 9b, respectivamente calientan la matriz -7b- y la tubería de inyección del reactivo metálico -8- para mantener el estado líquido del metal alcalino antes de que entre en el reactor -3-. La temperatura es controlada por un termopar -37-.

Al mover el pistón -7f- hacia su primera posición, un caudal controlado de metal alcalino líquido se presiona a través de la tubería de inyección del reactivo metálico -8- y se inyecta a través de la primera entrada de reactivo -3a- en el reactor -3-. El caudal de líquido alcalino se controla mediante la válvula de control de presión -11-, y el retorno de flujo desde el reactor -3- se impide por la válvula de retención -12-. Al mismo tiempo, una cantidad controlada de agua desmineralizada desde el segundo almacenamiento -2- se inyecta por la acción de una bomba de inyección (no mostrado en los dibujos) a través de la tubería de inyección de agua -13- y la segunda entrada del reactivo -3b- en el reactor -3-. La cantidad de agua inyectada se dosifica mediante la dosificación de agua -14- es decir, una válvula de dosificación, de tal manera que la cantidad de agua inyectada es siempre estequiométrica con respecto al flujo de metal alcalino líquido que se está inyectando. Para este propósito, la válvula de control de presión -11- y la válvula de dosificación -12- se controlan en el lazo en cascada M/S anteriormente descrito. Inyectando simultáneamente el metal alcalino y agua, se forma una mezcla reactiva homogénea. La longitud del reactor -3- es decir, del tiempo que las sustancias reaccionantes permanecen en el reactor -3- para un caudal de generación de hidrógeno depende del reactivo metálico o de la aleación utilizada.

La reacción es prácticamente instantánea o al menos muy rápida, y la presión generada en el reactor mediante la reacción está controlada por un sensor de presión -38- de tal manera que, cuando la presión en el reactor -3- supera un límite predeterminado, como por ejemplo en el caso de obstrucción de la boquilla de la separación -16-, el suministro de metal líquido alcalino y agua se detiene. El hidrógeno y el hidróxido metálico que todavía quedan en el reactor -3- pueden ser eliminados mediante la purga por desplazamiento del reactor -3- con agua. El exceso de calor producido en el reactor -3- por la reacción exotérmica del metal líquido alcalino con el agua se elimina por refrigeración -17- como, por ejemplo, un circuito con un fluido refrigerante tal como agua que se

puede conectar a otros elementos de el sistema, tales como el primer y/o el segundo calentador del reactivo metálico -9a, 9b- para transmitir la misma energía térmica.

La mezcla de hidrógeno y el hidróxido de metal alcalino vaporizado sale del reactor -3- a través de la salida del reactor -3c- y es vigorosamente pulverizado por la boquilla -16- a través de la entrada -4A- en el separador estático -4-. El gas hidrógeno se recoge en la parte superior de la cámara interior -4e- del separador estático, mientras que el metal alcalino vaporizado se enfría y adquiere de este modo un estado líquido y por lo tanto, principalmente se acumula en el fondo de dicha matriz -4a- desde donde se transfiere al receptor de metal -6- mediante la apertura de la segunda válvula de extracción -21b- cuando un indicador de nivel -22- ha detectado que el nivel del hidróxido de metal alcalino acumulado excede un límite predeterminado. En el funcionamiento del sistema de generación de hidrógeno, un cierto nivel hidráulico predeterminado de hidróxido de metal alcalino se mantiene en el fondo de la cámara interior -4e- para evitar que el hidrógeno presurizado presente en la cámara interior -4e- escape cuando el hidróxido de metal alcalino sea retirado.

El hidrógeno y el posiblemente aún existente metal alcalino vaporizado recogidos en la parte superior se transfieren a través de la primera salida -4b- a través de una entrada de gas-vapor -18a- en el separador de gotas -18- donde el todavía existente metal alcalino vaporizado es licuado así separado a partir de hidrógeno y se transfiere al receptor de metal hidróxido -6- mediante la apertura de la segunda válvula de extracción -21b-.

El hidrógeno separado en el separador de gotas -18- se extrae del mismo, y es conducido a través del filtro de hidrógeno -19- al receptor de hidrógeno -5- mediante la apertura de la válvula de presión de hidrógeno -20- que controla el flujo de hidrógeno bajo la control de un sensor de presión de hidrógeno -39-.

La Figura 4 muestra una realización de un sistema de recuperación para la recuperación de metal alcalino del producto residual de la reacción. El sistema de recuperación consta de un reactor de reducción de hidróxido de metal -24- que comprende una cámara de reacción -24a- con una entrada de agente reductor -24b- para la alimentación de un agente reductor que comprende una mezcla de ferrosilicio finamente dividido y óxido de calcio en la cámara de reacción -24a-, una entrada de residuo -24c- para la alimentación del producto residual de la reacción que comprende por lo menos un hidróxido de metal alcalino en la cámara de reacción -24a-, una salida de extracción del reactor -24d- para la extracción selectiva de la humedad y de metal alcalino vaporizado de la cámara de reacción -24a-.

El reactor de reducción -24- está provisto de calentadores del reactor -25- para calentar selectivamente la cámara de reacción -24a- a una temperatura de deshidratación para extraer la humedad del producto residual de la reacción, a una temperatura de calcinación para convertir el hidróxido de metal alcalino deshidratado en óxido de metal alcalino, y a una temperatura de vaporización que es superior al punto de ebullición del metal alcalino presente en el producto residual de la reacción para obtener el metal alcalino vaporizado.

Una trampa de vacío -27- se interconecta en un conducto de vacío -26a- entre la salida de extracción -24d- y el generador de vacío -26b-. La trampa de vacío -27- comprende una salida de condensados -27a- que se encuentra en su parte inferior y conectada a una válvula de extracción de condensado -28- y un venteo -27b- situada en su parte superior y conectada a una válvula de venteo -29-. Se interconecta una válvula de extracción de humedad -26c- en el conducto de vacío -26a- entre la salida de extracción -24a- y la trampa de vacío -27-, y se proporciona el enfriador de condensados -30- para la refrigeración de los condensados presentes en la trampa de vacío -24- a una temperatura de condensación de humedad. Se conecta un conducto de extracción -31- a la salida superior del reactor -24d- y a un depósito de metal alcalino -32-.

El enfriador de metal alcalino -33- está dispuesto en el conducto de extracción -31- para licuar el metal alcalino vaporizado que entre en el conducto de extracción -31- al enfriarlo a una temperatura por encima del punto de fusión del metal alcalino, de modo que metal alcalino líquido se deposita en el depósito de metal alcalino -32-. El depósito de metal alcalino -32- está provisto de un calentador -34- para mantener el material líquido alcalino en un estado líquido. El depósito de metal alcalino puede ser el primer almacenamiento -1- referido a continuación en relación con las figuras 1-3.

La recuperación de metal alcalino con el sistema de recuperación de acuerdo con la materialización mostrada en la figura 4 se realiza de la siguiente manera:

El hidróxido alcalino residual se coloca en la cámara de reacción -24a- del reactor de reducción de hidróxido -24-. Con la válvula de condensado -28-, la válvula de venteo -29- y la válvula de alimentación de reactivo -7i- permaneciendo cerradas, la válvula de extracción de humedad -26c- se abre de tal manera que por la acción de la bomba de vacío -26b- puede crearse vacío en el sistema de recuperación. La temperatura en el reactor -24- se incrementa entonces por la acción de calentador del reactor -25- por encima de 100°C para destilar completamente cualquier humedad, tal que la cristalización del agua o la humedad absorbida del hidróxido de metal alcalino. Por lo tanto la humedad se evapora a través de la salida de extracción del reactor -24d- y es conducida a través del conducto de vacío -26a- a la trampa de vacío -27- y se condensa en la misma por acción del enfriador de humedad -

30-, de modo que el agua líquida se acumula en la parte inferior de la trampa de vacío -27-. El agua líquida se puede extraer al romper el vacío mediante la apertura de válvula de venteo -29- y la apertura de la válvula de extracción de condensado -28- de modo que el agua puede fluir a través de la salida de condensados -27a-. El volumen de la trampa de vacío -27- debe ser suficiente para alojar toda la humedad destilada del hidróxido metálico alcalino situado en el reactor de reducción de hidróxido -24-.

Una vez que se ha completado la deshidratación, el hidróxido de metal alcalino deshidratado se calcina a óxido alcalino metálico. Una mezcla homogénea de ferrosilicio deshidratado y finamente dividido y óxido de calcio se introduce en el reactor -24- mediante la apertura de la válvula de control de presión de hidrógeno -40- de modo que la mezcla puede fluir a través de la entrada del agente reductor del reactor -24b- en la cámara de reacción -24a-. Una vez que se ha alcanzado un nivel de vacío predeterminado en la cámara de reacción -24a-, la válvula de extracción de humedad -26c- y la bomba de vacío -26b- se detiene. La temperatura en la cámara de reacción -24a- a continuación aumenta por el calentador del reactor -25- a una temperatura superior al punto de ebullición del compuesto de metal alcalino en el óxido de metal alcalino a la presión de vacío de trabajo existente en la matriz del reactor -24a-, con lo que este metal alcalino se vaporiza a través de la salida de extracción del reactor -24d- al conducto de extracción -31-, donde el metal alcalino extraído se enfría por el refrigerante del metal alcalino -30- a una temperatura ligeramente por encima del punto de fusión del metal alcalino de este modo haciendo que el metal alcalino vaporizado se condense hasta convertirse en líquido. El metal alcalino líquido gotea en el depósito de metal alcalino -32- y se acumula en el fondo del mismo, donde se mantiene en su estado líquido por medio de la boquilla -34-, y desde donde puede ser extraído a través de la salida de depósito -32a- mediante la apertura de la válvula de alimentación -41-.

Como se muestra en la figura 4 con los mismos números de referencia colocados entre paréntesis, el depósito de metal alcalino -32- puede ser el primer almacenamiento -1-, de tal manera que la salida de depósito -32a- y la válvula de salida de metal -41- operen respectivamente como el tubo de alimentación del reactor -7g- y la válvula de alimentación del reactivo -7i- referida aquí anteriormente con referencia a las figuras 2 y 3, de modo que el sistema de recuperación de metal se muestra en la figura 4 se integra en el sistema de generación de hidrógeno mostrado en las figuras 1-3.

En una materialización alternativa del reactor de reducción -24-, el agente reductor está precargado en el reactor de reducción de hidróxido -24- como un tubo en forma de briqueta hecho de una mezcla homogénea de ferrosilicio y óxido de calcio. La briqueta tiene un paso axial que conecta la entrada del residuo -24c- con la salida de extracción del reactor -24d-. El hidróxido de metal alcalino se introduce en el pasaje axial. La deshidratación y calcinación se realizan en el paso axial como se describe anteriormente en la presente memoria con referencia a la figura 4. El óxido de metal alcalino obtenido después de la calcinación se calienta entonces de manera que la reducción silicotérmica tiene lugar y se obtiene el reactivo de metal vaporizado. Como el óxido de metal alcalino está en contacto con la superficie del paso axial, el óxido de metal alcalino reacciona con el ferrosilicio y óxido de calcio y se convierte en el metal alcalino que se extrae a través de la salida de extracción del reactor -24d- en un estado vaporizado. El paso axial actúa así como la cámara de reacción -35- que es calentada por el calefactor del reactor -25-. El posterior procesamiento de la humedad obtenida por la deshidratación y la calcinación y del metal alcalino vaporizado, es análogo a lo que se ha descrito aquí anteriormente con referencia a la figura 4.

Después de la terminación de la reducción silicotérmica, los subproductos resultantes, Fe y CaSiO_3 se puede eliminar desde el paso axial por "lavado" del paso axial con una corriente controlada de aire comprimido.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de generación in situ de hidrógeno bajo demanda que comprende un primer almacenamiento (1) para almacenar un primer reactivo y un segundo almacenamiento (2) para el almacenamiento de agua desmineralizada como un segundo reactivo, un reactor (3) en el que se hacen reaccionar los reactivos para generar hidrógeno gaseoso, el reactor (3) que comprende entradas de reactivos (3a, 3b) y una salida del reactor (3c); inyectores (7, 8) para inyectar de forma controlada un flujo del primer reactivo calentado por encima de su punto de fusión en el reactor (3), un sistema de inyección de agua (13, 14, 15) para inyectar el agua desmineralizada en el reactor (3); separadores (4, 18) conectados a la salida del reactor (3c) para separar el hidrógeno gaseoso de un producto residual de la reacción, tal como se produce en el reactor (3); y un receptor de hidrógeno (5) conectado a la primera separación (4) para la recepción de hidrógeno gaseoso extraído del primer separador (4); **caracterizado porque**

el primer reactivo es un reactivo metálico seleccionado entre metales alcalinos, metales alcalinotérreos, aleaciones de metales alcalinos con metales alcalinos, aleaciones de metales alcalinotérreos con metales alcalino-térreos y las aleaciones que consisten en metal alcalino y metal alcalinotérreo, y el producto residual de la reacción que comprende hidróxido metálico seleccionado de entre hidróxidos metálicos alcalinos y de hidróxidos metálicos alcalinotérreos;

los inyectores (7,8) son inyectores de reactivos metálicos (7, 8);

un sistema de inyección de agua (13, 14, 15) es para la inyección en todo momento de una cantidad estequiométrica de agua con respecto a la cantidad del reactivo metálico que se inyecta en el reactor (3) de tal manera que la relación de reactivo metálico y agua se mantiene controlada en el reactor (3);

y en que además consta de medios (10a, 10b, 10c) para mantener el almacenamiento (1, 2), los inyectores del reactivo metálico (7,8), el sistema de inyección de agua (13, 14, 15), el reactor (3), los separadores (4, 18) y el receptor de hidrógeno (5) libre de oxígeno al proporcionar de forma selectiva vacío en el sistema.

2. Un sistema de generación de hidrógeno según la reivindicación 1, **caracterizado porque**

el primer almacenamiento (1) está conectado a una primera entrada de reactivo (3a) a través de un sistema de alimentación de reactivo metálico que comprende

al menos un inyector de metal (7) para inyectar de forma controlada un flujo del reactivo metálico en un estado líquido en el reactor (3),

una tubería de inyección del reactivo metálico (8) que conecta el inyector (7) con la primera entrada de reactivos (3a);

calentadores del reactivo (9a, 9b) para la calefacción del reactivo metálico a dicha temperatura por encima del punto de fusión del reactivo metálico a fin de poner el reactivo metálico en dicho estado líquido antes de entrar en el reactor (3);

generadores de vacío (10a, 10b, 10c) para generar selectivamente un nivel de vacío en el primer sistema de alimentación, los almacenamientos (1, 2), el sistema de inyección de agua (13, 14, 15), el reactor (3), los separadores (4, 18) y el receptor de hidrógeno (5) para asegurar que está libre de oxígeno;

válvulas de control de flujo (11, 12) para controlar el flujo del reactivo metálico en el reactor (3), sistema de refrigeración (17) para mantener el reactor (3) a una temperatura de trabajo;

el segundo almacenamiento (2) está conectado a la segunda entrada del reactivo (3b) a través de un sistema de alimentación de agua que consta de una tubería de inyección de agua (13) conectando el segundo almacenamiento (2) a la segunda entrada del reactivo (3b), la válvula de dosificación de agua (14) para la dosificación del agua para ser inyectada en el reactor (3) y el inyector de agua (15) conectado a la segunda entrada del reactivo (3b);

la válvula de control de caudal (11) y los dosificadores de agua (14) están controlados por medio de la relación de control de tal manera para que la válvula de dosificación de agua (14) en todo momento proporcione dicha cantidad estequiométrica de agua para mantener dicha relación de reactivo metálico y agua controlada en el reactor (3).

3. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** el sistema de refrigeración (17) del reactor (3) está térmicamente conectado con el primer y/o el segundo calentador de reactivos (9a, 9b) por medio de un circuito con un fluido refrigerante, de modo que el calor generado en el reactor (3) se utiliza para calentar el reactivo metálico antes de que ser inyectado en el reactor (3).

4. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 2, o 3, **caracterizado porque** el dispositivo de inyección de metal (7) comprende un cuerpo cilíndrico (7a), una matriz (7b) para alojar el reactivo metálico líquido y que consta de una salida de reactivo (7c) conectado a la tubería de inyección de metal (8), una entrada de reactivo (7d) conectado al primer almacenamiento (1) por medio de una tubería de alimentación del reactivo metálico (7 g), y una de válvula de alimentación del reactivo metálico (7i) conectada entre la entrada de reactivo (7d) y el primer almacenamiento (1); un puerto de vacío (7e) conectado al generador de vacío (10a, 10b, 10c); un pistón (7f) desplazable dentro del cuerpo cilíndrico (7a) hacia una primera posición por la cual el reactivo metálico es aspirado a la matriz (7b) a través de la entrada de reactivo (7e) y hacia una segunda posición mediante la cual el caudal del reactivo metálico es expulsado de la matriz (7b) a través de la salida de reactivo (7c) en la tubería de inyección del reactivo metálico (8).
5. Un sistema de generación de hidrógeno según las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado porque** las válvulas de control de caudal (11, 12) se insertan en el tubería de inyección del reactivo metálico (8) y constan de una válvula de control de presión (11) dispuesta entre la salida del reactivo (7c) y la primera entrada del reactivo (3a), una válvula de retención (12) dispuesta entre la válvula de control de presión (11) y la primera entrada del reactivo (3a) para evitar retornos de flujo desde el reactor (3).
6. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 2, 3 4 o 5, **caracterizado porque** el generador de vacío (10a, 10b, 10c) consta de un sistema de vacío (10a) conectado al puerto de vacío (7e) a través de un tubería de vacío (10b), y una válvula de vacío (10c) insertada en el tubo de vacío (10b).
7. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-6, **caracterizado porque** los calentadores del reactivo (9a, 9b) constan de un primer calentador del reactivo (9a) dispuesto para calentar por lo menos la matriz (7b) del dispositivo de inyección del reactivo metálico (7).
8. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-7, **caracterizado porque** el calentadores del reactivo (9a, 9b) constan de un segundo calentador del reactivo (9b) dispuesto en la tubería de inyección del reactivo metálico (8).
9. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los separadores (4, 18) constan de un primer separador (4) conectado a la salida del reactor (3c) y que comprende una entrada (4a) conectada a la salida del reactor (3c) para recibir una mezcla de hidrógeno y el producto residual de la reacción generado en el reactor, una primera salida (4b) conectada al receptor de hidrógeno (5), y una segunda salida (4c) conectada al receptor de hidróxido metálico (6) dispuesto para recibir producto residual de la reacción extraído del primer separador (4).
10. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** la salida del reactor (3c) está conectada a una boquilla (16) para pulverizar dicha mezcla en el primer separador (4).
11. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, **caracterizado porque** el primer separador (4) comprende una toma de succión (4d) conectado al sistema de vacío (10a), y una válvula de vacío para puesta en marcha (23) interconectada entre la toma de succión (4d) y el sistema de vacío (10a).
12. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 9, 10 o 11, **caracterizado porque** consta de un segundo separador (18) interconectado entre el receptor de hidrógeno (5) y la primera salida (4b) del primer separador (4), el segundo separador (18) siendo un separador de partículas una entrada de gas-vapor (18a) conectada a la primera salida del primer separador (4), una salida de hidrógeno (18b) conectada al receptor de hidrógeno (5), y un salida de hidróxido metálico (18c) conectada al receptor de hidróxido metálico (6).
13. Un sistema de generación de hidrógeno según la reivindicación 12, **caracterizado por** comprender un filtro de hidrógeno (19) interconectado entre el separador de gotas (18) y el receptor de hidrógeno (5).
14. Un sistema de generación de hidrógeno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende además un reactor de reducción de hidróxido metálico (24) que consta de una cámara de reacción (24a), una entrada de residuo (24c) para la alimentación de producto residual de la reacción que comprende al menos un hidróxido metálico alcalino en la cámara de reacción (24a) a fin de poner el producto residual de la reacción en contacto con un agente reductor que comprende el ferrosilicio y óxido de calcio, una salida de extracción del reactor (24d) para la extracción selectiva de la humedad y de metal alcalino vaporizado de la cámara de reacción (24a);

- 5 el calentador del reactor (25) para calentar selectivamente la cámara de reacción (24a) a una temperatura de deshidratación para extraer la humedad del producto residual de la reacción, a una temperatura de calcinación para convertir el hidróxido metálico deshidratado en óxido metálico, y a una temperatura de vaporización que es mayor que el punto de ebullición del metal alcalino presente en el producto residual de la reacción para obtener el metal alcalino vaporizado;
- un conducto de vacío (26a) conectado a la salida de extracción (24d) y al generador de vacío (26b);
- una trampa de vacío (27) interconectada en el conducto de vacío (26a) entre la salida de extracción (24d) y el generador de vacío (26b), la trampa de vacío (27) que comprende una salida de condensados (27a) situada en su parte inferior y conectada a una válvula de extracción de condensado (28) y un venteo (27b) situada en su parte superior y conectada a una válvula de venteo (29);
- 10 una válvula de extracción de humedad (26c) interconectada al conducto de vacío (26a) entre la salida de extracción (24a) y la trampa de vacío (27);
- el sistema de refrigeración de condensados (30) para enfriar la humedad presente en la trampa de vacío (24) a una temperatura de condensación de humedad;
- 15 un conducto de extracción (31) conectado a la salida de extracción de reactor (24d) y a un depósito de metal alcalino (32);
- enfriamiento de metal alcalino (33) dispuesto en el conducto de extracción (31) para licuar el metal alcalino vaporizado que entre en el conducto de extracción (31) por enfriamiento hasta una temperatura por encima del punto de fusión del metal alcalino, de modo que el metal alcalino líquido se deposita en el depósito de metal alcalino (32).
- 20 15. Un sistema de generación de hidrógeno según la reivindicación 14, **definido como tal** depósito de metal alcalino (32) está provisto de calentadores (34) para mantener el material líquido alcalino en un estado líquido.
16. Un sistema de generación de hidrógeno según la reivindicación 14 o 15, **caracterizado como tal** en el depósito de metal alcalino (32) denominado como primer almacenamiento (1).
- 25 17. Un sistema de generación de hidrógeno según la reivindicación 14, 15 o 16, **caracterizado porque** el reactor de reducción de hidróxido metálico (24) comprende una entrada de agente reductor (24b) para la alimentación de una mezcla de ferrosilicio finamente dividido y óxido de calcio en la cámara de reacción (24a).
- 30 18. Un método de generación in situ de hidrógeno bajo demanda que comprende hacer reaccionar un reactivo metálico seleccionado de entre metales alcalinos, metales alcalinotérreos, aleaciones de metales alcalinos con metales alcalinos, aleaciones de metales alcalinotérreos con metales alcalino-térreos y las aleaciones que consisten en metales alcalinos y metales alcalinotérreos, con agua para obtener hidrógeno y un producto residual de la reacción que comprende hidróxido metálico seleccionado de entre hidróxidos alcalinos e hidróxidos alcalinotérreos, y separación de hidrógeno del producto residual de la reacción, **caracterizado porque** el método comprende licuar el reactivo de metal por calentamiento para obtener reactivo de metal líquido bajo condiciones de vacío;
- 35 inyectar el reactivo de metal líquido en un reactor (3) por medio de inyectores de reactivo metálico (7, 8) y simultáneamente inyectando por medio de un sistema de inyección de agua (13, 14, 15) una cantidad estequiométrica de agua con respecto a la cantidad del reactivo de metal líquido que se inyecta en el reactor (3) de tal manera que la relación del reactivo metal reactivo y agua se mantiene controlada en el reactor (3);
- 40 la transferencia de hidrógeno y el producto residual de la reacción desde el reactor (3) a los separadores (4, 18);
- separación de hidrógeno a partir del producto residual de la reacción, transfiriendo el hidrógeno separado a los receptores de hidrógeno (5) y transfiriendo el producto residual de la reacción a los receptores del hidróxido metálico (6), mediante el cual el inyector del reactivo metálico (7,8), el sistema de inyección de agua (13, 14, 15), el reactor (3), los separadores (4, 18) y el receptor de hidrógeno (5) se mantienen libres de oxígeno por proporcionar selectivamente vacío en el sistema.
- 45 19. Un método de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado en que** el metal alcalino se recupera del hidróxido metálico alcalino presente en el producto residual de la reacción mediante la reducción del hidróxido metálico alcalino en un reactor (24) con una pluralidad de agentes reductores, mediante un proceso que comprende;
- 50 transferencia del producto residual de la reacción desde el receptor del hidróxido de metal (6) al reactor de reducción de hidróxido metálico (24);

generación de vacío en el reactor de reducción de hidróxido (24) conteniendo el producto residual de la reacción;

sometimiento del producto residual de la reacción para la deshidratación térmica en condiciones de vacío;

5 extracción de agua evaporada del reactor de reducción de hidróxido (24) con el fin de hacer que se libere la humedad del producto residual de la reacción;

calcínación del producto residual de la reacción para convertir el hidróxido metálico en óxido metálico;

10 reducción del óxido metálico, en condiciones de vacío, con el agente reductor que comprende una mezcla de ferrosilicio deshidratado finamente dividido y óxido de calcio deshidratado por calentamiento del óxido metálico en el reactor (24) a una temperatura superior al punto de ebullición del reactivo de metal presente en el óxido metálico, proporcionando de esta manera una reducción silicotérmica del óxido metálico mediante el cual se obtiene reactivo metálico vaporizado;

extracción del metal alcalino vaporizado del reactor de reducción de hidróxido (24) y transferencia del metal alcalino vaporizado a un condensador;

15 licuar el metal alcalino vaporizado en el condensador por enfriamiento hasta una temperatura por encima del punto de fusión del metal alcalino, para obtener metal alcalino líquido;

transferencia del metal alcalino líquido a un depósito de metal alcalino (32).

20. Un método según la reivindicación 19, **caracterizado porque** el material alcalino líquido se mantiene en un estado líquido en el depósito de metal alcalino (32).

20 21. Un método de acuerdo con la reivindicación 19 o 20, **caracterizado porque** el metal alcalino contenido en el depósito de metal alcalino (32) se inyecta dentro de dicho reactor (3) por un dispositivo de inyección del reactivo metálico (7).

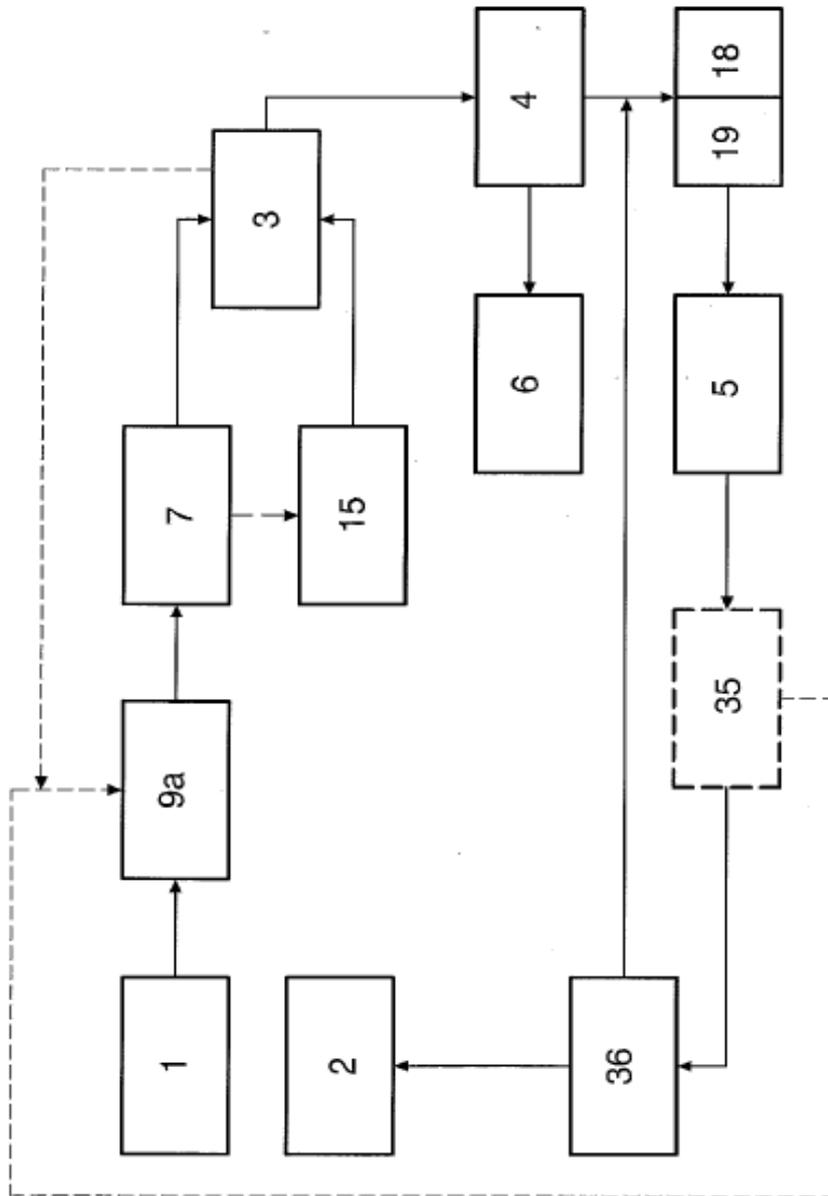


FIG. 1

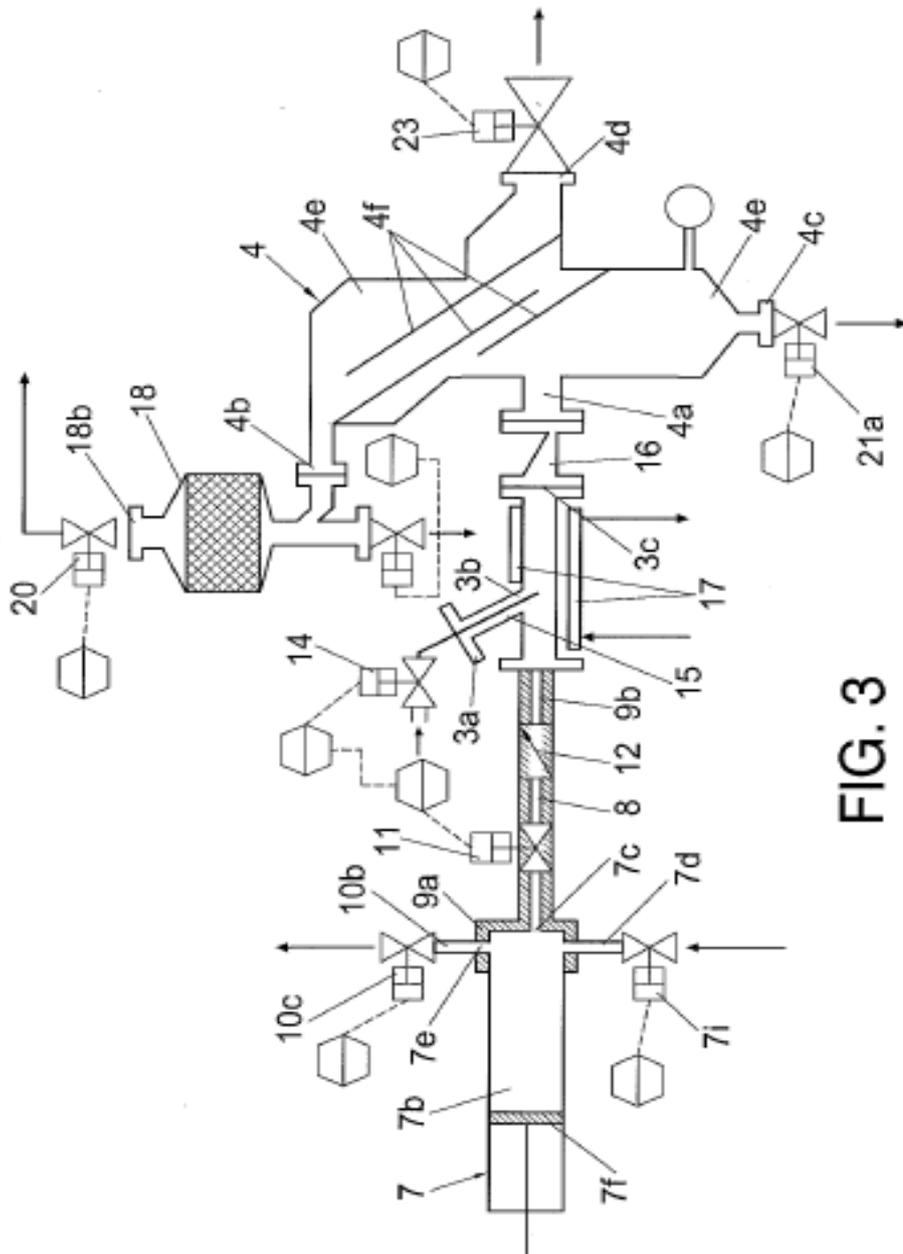


FIG. 3

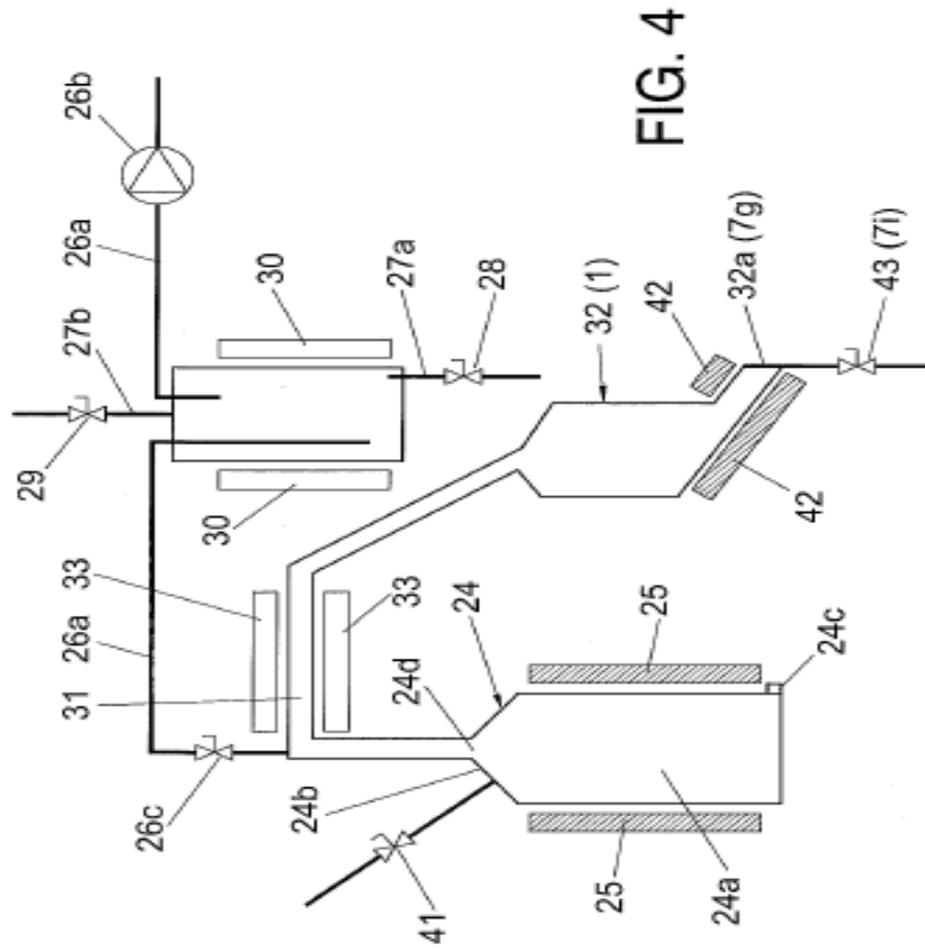


FIG. 4